

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ И АНИЗОТРОПНЫХ СВОЙСТВ ЛИТОЙ МЕДИ НА ПРОЦЕСС ХОЛОДНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК

Ю.Н. Логинов, В.В. Котов

(ГОУ ВПО "УГТУ—УПИ")

Рассмотрено влияние неоднородности структуры и анизотропных свойств литой меди на процесс холодной деформации трубных заготовок. Выполнен ряд экспериментальных исследований свойств литой меди марки М1. Показано, что получение литьем тонкомерных заготовок из меди приводит к формированию столбчатой структуры. Формоизменение в холодном состоянии таких заготовок отличается от формоизменения медных заготовок, прошедших горячую деформацию. Выполнен прогноз поведения заготовок из литой меди в операциях холодной обработки давлением трубных заготовок.

ВВЕДЕНИЕ

Традиционная схема производства трубных полуфабрикатов из меди и медных сплавов включает полунепрерывное литье сплошной заготовки, нагрев, прессование и холодную обработку

(волочение, ХПТ) с чередованием рекристаллизационных отжигов и химической обработки поверхности [1]. Достоинствами схемы является достаточный уровень маневренности (гибкости) при переходе на производство других изделий, достижение достаточного уровня потребительских

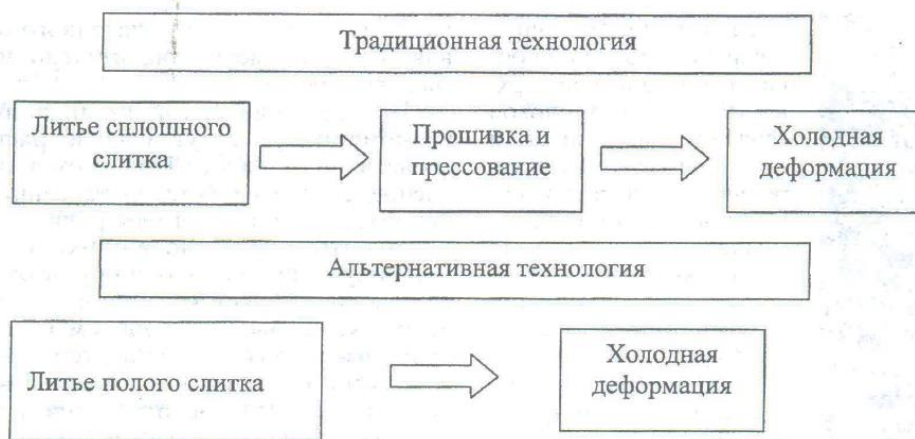


Рис. 1. Сравнение технологических схем производства медных труб

свойств, в том числе изотропности, материала полуфабриката.

Фирмой Outokumpu разработана технология CAST AND ROLL непрерывного литья медных труб с последующей прокаткой на планетарном стане без нагрева, но в горячем состоянии, достигаемом за счет выделения тепла энергией деформации [2]. Одним из вариантов технологии является получение холоднодеформированных труб отливкой [3—4] и волочением трубной заготовки без предварительной горячей деформации (рис. 1). Ранее аналогичный способ обработки предлагался фирмой Phelps dodge copper products, но в качестве способа холодной деформации предлагался вариант ковки на ротационно-ковочной машине [5].

Преимущества литья полой заготовки по сравнению с литьем сплошной заготовки проявляются на стадии последующей формообразующей обработки. Подготовленная при литье полость, выполненная строго аксиально, позволяет избежать появления большой разностенности трубы при последующей закрытой прошивке заготовки на гидравлическом прессе. Кроме того, снижаются энергозатраты при прессовании, иглы прессов способны работать дольше из-за устранения нагрузок, характерных для прошивки. Однако наиболее выпукло достоинства применения полых литых заготовок проявляются при отказе от горячей деформации, а осуществлении сразу холодной деформации.

В этом случае устраняется опасность появления дефектов на поверхности изделия в виде частиц окислов и окалины, повышается качество продукции и снижаются энергозатраты на процесс в целом.

Своеобразная революция в аналогичном направлении за последнее время произошла в области изготовления медной катанки и тонкомерных заготовок из медных сплавов, которые получают методом литья и последующей холодной деформации, минуя стадию горячей деформации. Ряд фирм (например, Rautomead, Outokumpu, Катэл) заняты поставкой соответствующего оборудова-

ния на заводы, которые специализируются на производстве полуфабрикатов из цветных металлов.

В работе будут проанализированы последствия перевода традиционной технологии производства медных труб на технологию непрерывного литья и холодной деформации, минуя процесс горячей деформации.

АНАЛОГ ПРОЦЕССА

На Кыштымском медеэлектролитном заводе освоен выпуск медной катанки на установке фирмы "Оутокумпу" методом непрерывного вытягивания из расплава. Катанка используется для получения проволоки методом холодного волочения на кабельных заводах страны (рис. 2).

В процессе литья кристаллизация чистой меди в большой степени отличается от кристаллизации сплавов на медной основе. Наличие в сплавах лигатуры обеспечивает при застывании наличие многочисленных центров кристаллизации, что позволяет получить относительно мелкозернистую структуру, не склонную к проявлению текстурообразования. При использовании технической чистой меди центров кристаллизации меньше, структура металла получается дендритной, форма дендритов столбчатая. Кристаллы вытянуты вдоль направления теплоотвода, т.е. в радиальном направлении.

На рис. 2 изображена фотография поперечного темплета такой заготовки. Шлиф получали травлением поверхности темплета раствором азотной кислоты (50 %), после чего выполняли исследования на металлографическом микроскопе и микротвердометре ПМТ-ЗМ.

Травление катанки в поперечном сечении выявило четкую картину, характерную для литого металла (рис. 2), т.е. у поверхности наблюдалась небольшая зона мелких равноосных зерен, далее находилась зона крупных столбчатых кристаллов, вытянутых по направлению к центру, а в центре — зона равноосных кристаллов. По виду структуры можно предположить, что охлажде-

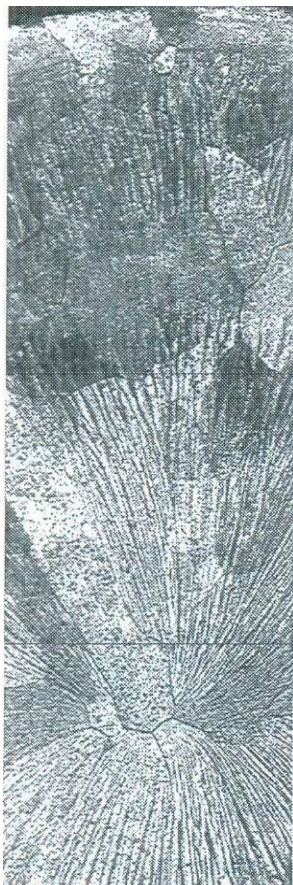


Рис. 2. Структура литой катанки (поперечный шлиф)

ние поверхности прошло очень быстро, но при образовании зоны поверхностных зерен, тепловой градиент уменьшился, и тепловой отток из внутренних слоев шел к поверхности достаточно медленно. Это вызвало не только рост столбчатых кристаллов, но и образование в центре самопроизвольных зародышевых центров, и, как следствие, — образование зоны равноосных зерен.

Для оценки свойств меди было произведено определение микротвердости в поперечном сечении катанки со сканированием вдоль радиуса. Характер распределения микротвердости по радиусу поперечного сечения показан на рис. 3. Из графика видно, что распределение микротвердости имеет минимум в зоне столбчатых кристаллов. В зоне внутренних равноосных зерен микротвердость ниже, чем в приповерхностной зоне. Также довольно интересным фактом является достаточно большое отличие микротвердости в соседних равноосных зернах, и соседних вытянутых зернах, которое невозможно объяснить погрешностью измерений. На фото рис. 4 видно, что отпечатки индентора различны внутри каждого зерна. С коэффициентом корреляции 0,8 эпюра распределения микротвердости аппроксимируется уравнением

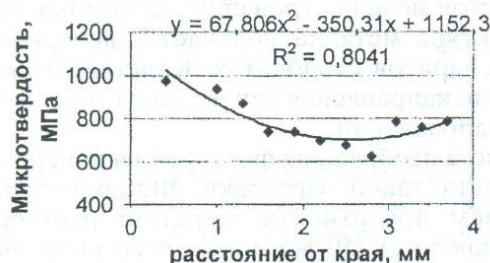


Рис. 3. Эпюра распределения микротвердости вдоль радиуса катанки

параболы (рис. 3).

Достаточно высокое значение микротвердости в центральных зернах по отношению к микротвердости столбчатых кристаллов еще не говорит о большой твердости центральных слоев, т.к. анализ микроструктуры при увеличении $\times 500$ по-

казал наличие дефектов литейного происхождения, которые могут значительно повлиять на свойства продукта.

Исследование литой катанки выявило неравномерность структуры и распределения свойств по сечению. При этом показано, что распределение свойств по тангенциальной координате практически однородно. Это говорит о том, что не должно возникнуть трудностей при получении проволоки круглого сечения, но получение из такой катанки проволоки некруглого сечения вызовет проблемы с заполнением волок из-за неоднородности течения металла, а возможно и полную невозможность получения такой проволоки с использованием тех же маршрутов волочения, что и для однородной проволоки. Именно эти недостатки отмечаются при использовании литой катанки на кабельных заводах страны.

Как правило, дендритная столбчатая структура металлов приводит к проявлению эффекта анизотропии. Текстурирование в медных полуфабрикатах наблюдали, например, болгарские исследователи [11], правда, это относилось к текстуре волочения. Поэтому следующий этап работы заключался в оценке текстурованности про-



Рис. 4. Микроструктура поперечного шлифа катанки (половина радиуса) $\times 200$

дукта.

Анализу подвергнуто два вида катанки: получаемой методом непрерывного вытягивания из расплава в условиях Кыштымского медноэлектродного завода на установке фирмы "Отокумпу" и катанки производства АО "Уралэлектромедь" на установке непрерывного литья и сортовой прокатки конструкции фирмы "Маннесманн".

ФОРМОИЗМЕНЕНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ

Из катанки изготавливали образцы диаметром 7,5 мм и длиной 25 мм проточкой поверхности с целью устранения овальности и токарной

обработкой торцов. Целью осадки поперек образующей являлось установление разницы в уширении заготовки в литом и деформированном состоянии. Образцы подвергали сжатию двумя бойками по схеме рис.3а, с предварительным нанесением на контактные поверхности смазки путем смачивания контактных поверхностей машинным маслом с чешуйчатым графитом. Для создания нагрузки использовали универсальную испытательную машину УИМ10, имеющей винтовой привод рабочей траверсы со скоростью 20 мм/мин, что соответствовало скорости деформации в пределах 0,03... 0,1 мм/с.

Фиксировали размеры образца B , h (рис. 5б), а также начальную l_0 и текущую длину l при ступенчатом нагружении цилиндров поперек образующей с возобновлением слоя смазки на контактных поверхностях на каждой ступени. Рассчитывали следующие безразмерные характеристики деформации:

- относительное уширение по контактной поверхности $\frac{B}{D_0}$;

- коэффициент вытяжки $\lambda = \frac{l}{l_0}$;

- коэффициент высотной деформации $\frac{1}{\eta} = \frac{D_0}{h}$.

Результаты серий экспериментов для горячедеформированной и литой заготовок отражены на рис. 5, с. Анализ опытных данных показывает, что при одинаковых коэффициентах высотной

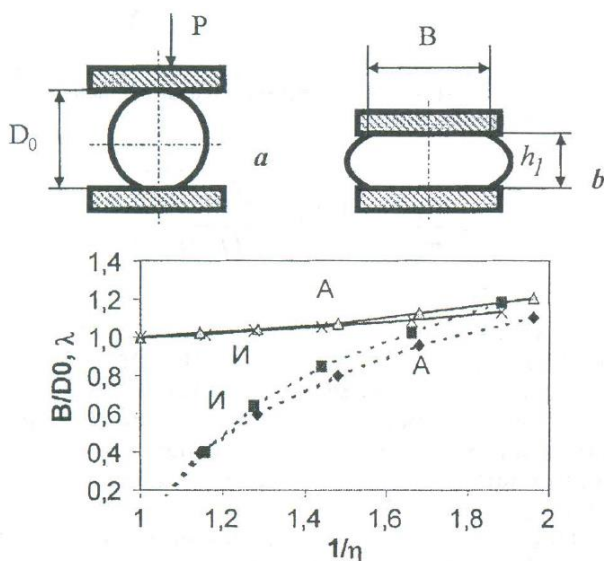


Рис. 5. Схема осадки (а), размеры после деформации (б) и зависимости (с) λ , (сплошные линии) и B/D_0 (штриховые линии) от $1/\eta$ для цилиндров из изотропной (И) и анизотропной (А) меди

деформации уширение образцов из литой заготовки меньше, чем образцов из горячекатаной заготовки. Соответственно, коэффициенты вытяжки для литого металла выше, чем для горячекатаного примерно на 5... 10 %. В этой серии опытов выявлено различие в характере течения заготовок для волочения, полученных различными способами.

ФОРМОИЗМЕНЕНИЕ КУБИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ

В следующей серии экспериментов из круглой заготовки диаметром 8 мм, изготавливали снятием стружки прутки квадратного (6х6 мм) поперечного сечения, а из него вырезали образцы в форме куба разделением на мерные длины и доведением граней до состояния перпендикулярности. Кубические образцы подвергали осадке с фиксацией направления приложения сжимающего усилия подобно методике, примененной для анализа текстурованного магния в статье [6]. Параллельно проводились опыты по осадке цилиндрических образцов вдоль образующей.

Отметим, что осадка в любом направлении кубических образцов из горячекатаной заготовки привела к получению квадратных в плане образцов, что говорит об изотропности этого материала. При осадке кубических образцов из литой катанки поперек оси литья получали заготовки, имеющие в плане форму не квадрата, а прямоугольника, что говорило о наличии анизотропии (рис. 3).

Различная интенсивность течения заготовки в плане соответственно по координатам x и y объясняется различием в сопротивлении деформации по этим направлениям. Большее удлинение вдоль координаты y происходит за счет меньшего значения сопротивления деформации вдоль этой координаты, что обусловлено унаследованной от литья анизотропией свойств. Далее предлагается к рассмотрению методика, позволяющая по разнице удлинений сторон образца после осадки оценить характер анизотропии сопротивления деформации.

Обработка данных эксперимента заключалась в измерении образцов, расчете величин деформаций и напряжений и сопоставлении их с направлением деформирования. Удобство использования образцов именно в форме куба состояло в том, что изменение направления деформации непосредственно сказывалось на форме контактной поверхности.

ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ТЕЧЕНИЯ АНИЗОТРОПНОГО МАТЕРИАЛА С ИЗОТРОПНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ

Используем полученные в работах Р.Хилла уравнения связи напряжений σ_{ij} ($i = x, y, z$) и приращений деформаций $d\epsilon_{ij}$ для анизотропного материала с изотропным упрочнением [7], при использовании следующих обозначений: k — инва-

риантная константа; H_0 , F_0 , G_0 — множители, определяемые выражениями

$$H_0 + G_0 = \frac{1}{\sigma_{Tx}^2}; H_0 + F_0 = \frac{1}{\sigma_{Ty}^2}; F_0 + G_0 = \frac{1}{\sigma_{Tz}^2}, \quad (1)$$

где σ_{Ti} ($i = x, y, z$) — пределы текучести вдоль соответствующих осей.

Допустим, что соответствующие пределы текучести σ_{Ti} , равны соответствующим сопротивлениям деформации σ_{si} , тем самым допустим, что характер анизотропии свойств сохраняется за весь период испытаний, т.е. $\sigma_{si} = \sigma_{Ti}$.

Образец в виде куба подвергается испытанию на осадку так, чтобы в направлении z осуществлялась осадка, ось z ; расположим вдоль направления, в котором свойства одинаковы с направлением z . Вдоль направления y свойства образца не совпадают ни со свойствами вдоль оси x , ни со свойствами вдоль оси z (рис.6). В случае деформации непрерывнолитой катанки оси дендритов (показаны как эллипсы) располагаются перпендикулярно направлению волочения проволоки (или литья), а направление волочения (НВ), естественно, совпадает с осью заготовки.

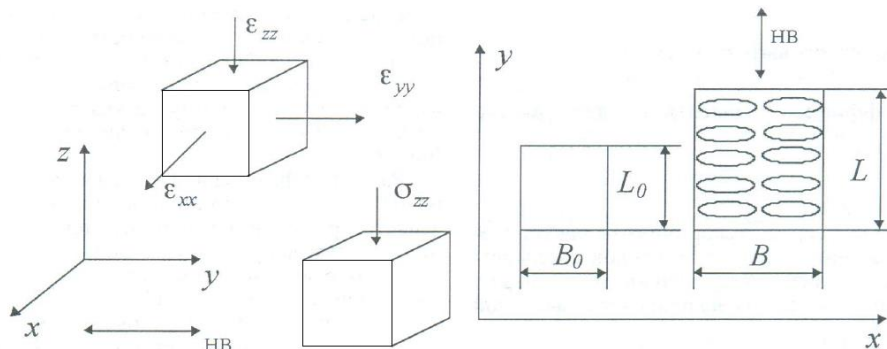


Рис. 6. Расположение элементарного объема анизотропного металла в декартовой системе координат и изменение конфигурации квадратной в плане заготовки после деформации; НВ — направление отливки; эллипсами показана ориентировка дендритов в медной литой заготовке

Примем, что в опыте реализовано одноосное напряженное состояние, тогда $\sigma_{yy} - \sigma_{xx} = 0$, что приведет к системе

$$d\varepsilon_{xx} = -k \cdot G_0 \cdot \varepsilon_{zz}, \quad (2)$$

$$d\varepsilon_{yy} = -k \cdot F_0 \cdot \varepsilon_{zz}, \quad (3)$$

$$d\varepsilon_{zz} = k \cdot \sigma_{zz} \cdot (G_0 + F_0) = k \cdot \frac{\sigma_{zz}^2}{\sigma_{Tz}^2}. \quad (4)$$

Из условия текучести Р. Хилла

$$H_0 \cdot (\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + F_0 \cdot (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + G_0 \cdot (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2 = 1 \quad (5)$$

и допущении, что σ_{ii} являются главными напряжениями, следует, что $\sigma_{zz} = \sigma_{Tz} = \sigma_{sz}$.

Поскольку свойства материала в направлениях z и x одинаковы, то $\sigma_{xx} = \sigma_{sz}$ откуда

$$\sigma_{sy} = \sqrt{\frac{1}{2F_0}} = \sigma_{sz} \sqrt{-\frac{1}{2} \cdot \frac{d\varepsilon_{zz}}{d\varepsilon_{yy}}}. \quad (6)$$

С учетом условия несжимаемости $d\varepsilon_{ii} = 0$ получим

$$\sigma_{sy} = \sigma_{sz} \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{d\varepsilon_{xx}}{d\varepsilon_{yy}}\right)}. \quad (7)$$

Проверка формулы (7) для случая осадки изотропного материала при использовании условия несжимаемости в виде $d\varepsilon_{zz} = -2d\varepsilon_{yy}$ приводит к соотношению $\sigma_{sy} = \sigma_{sz}$, что косвенно подтверждает правильность выполненных преобразований.

При переходе к малым конечным деформациям и изменении размеров вдоль координаты x на величину $\Delta B = B_j - B_{j-1}$, а вдоль координаты y на величину $\Delta L = L_j - L_{j-1}$ при условии монотонности деформации формула (7) может быть преобразована к виду

$$n_a = \frac{\sigma_{sy}}{\sigma_{sz}} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{\ln(B_j/B_{j-1})}{\ln(L_j/L_{j-1})}\right)}, \quad (8)$$

- где n_a характеризует разницу в свойствах изделия вдоль и поперек направления НВ. При предположительном течении металла вдоль длины L , что наблюдалось в опытах, второе слагаемое в круглых скобках меньше единицы и значение радикала становится также меньше единицы, это приводит к условию $n_a < 1$.

Построены зависимости накопленных степеней деформации по координатам x и y от накопленной деформации по координате z , рассчитанные по формулам:

$$\varepsilon_{ii} = \sum_{j=1}^n d\varepsilon_{ij},$$

где $i = x, y, z$ – номер координаты;
 $j = 1, \dots, n$ – номер шага;

$$d\varepsilon_{ij} = \ln \frac{\varepsilon_{ij}}{\varepsilon_{ij-1}}.$$

Полученные графики показывают, что в зависимости от направления деформаций расхождения в их величинах могут составить до 50 %. Эти же интегральные соотношения, представленные через коэффициенты деформации, $\lambda = \frac{L}{L_0}$, $\beta = \frac{B}{B_0}$; $\frac{1}{\eta} = \frac{H_0}{H}$ представлены на рис. 7.

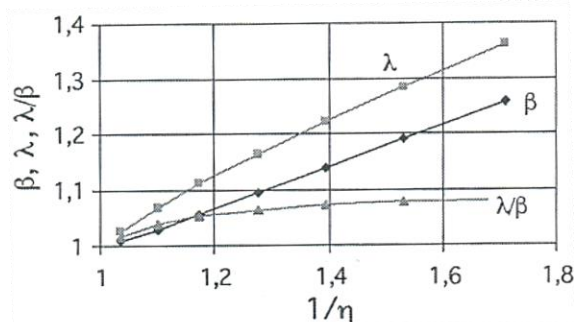


Рис.7. Зависимости β , λ , λ/β от $1/\eta$ для анизотропной меди

Отношение коэффициента вытяжки λ к коэффициенту уширения β может являться оценкой изменения текстурованности материала в процессе осадки. Как видно из графика, характер различия между деформациями в различных направлениях не имеет тенденции к уменьшению, а превышение значения λ над величиной β достигает 8 %.

Результаты измерения сопротивления деформации в различных направлениях и для образцов различной формы представлены на рис. 8. Сопротивление деформации для цилиндрических и кубических образцов, сжимаемых в направлении оси литья НВ, оказалось различным: в начале

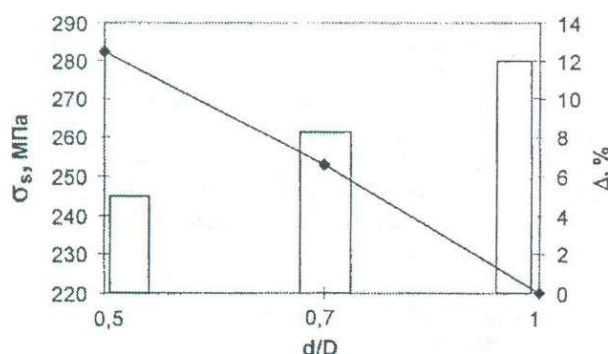


Рис. 8. Сопротивление деформации (гистограмма) и его отклонение от интегрального значения (график) в зависимости от относительного диаметра образца при $\varepsilon = 0,3$

процесса сопротивление деформации цилиндрических образцов (ц) оказалось примерно на 20 МПа больше, чем кубических (в), однако по мере деформации значения выравнивались. Сопротивление деформации кубических образцов, сжатых поперек направления НВ(п), оказалось ниже примерно на 8... 10 %, чем этот же показатель для цилиндров, сжимаемых вдоль НВ. Ниже приведены коэффициенты уравнения регрессии вида $\sigma_s = a\varepsilon^b$ для всех трех видов испытаний:

Таблица 1

Коэффициенты уравнений регрессии как показатели текстуры

Вид образца и испытания	a , МПа	b
Цилиндрический вдоль НВ	337,88	0,2152
Кубический поперек НВ	322,09	0,2386
Кубический вдоль НВ	357,73	0,2762

Такой характер зависимостей говорит о том, что кроме текстурованности материала в данном случае имеет место неоднородность механических свойств по диаметру заготовки. Высокий уровень прочностных свойств, характерный для цилиндрических образцов, объясняется повышенной прочностью поверхностных слоев металла. Эта гипотеза подтверждается тем, что после изготовления кубических образцов вследствие съема металла с поверхности сопротивление деформации оказалось меньшим и одинаковым вне зависимости от направления испытания.

НЕОДНОРОДНОСТЬ СВОЙСТВ ПО ПОПЕРЕЧНОМУ СЕЧЕНИЮ

Полученные экспериментальные результаты не подтверждают теорию Хилла, разработанную для течения анизотропного материала, поскольку в соответствии со сделанными выше преобразованиями сопротивление деформации вдоль оси заготовки должно быть меньше, чем поперек этой оси. В опытах, которые были выполнены на статистически значимом уровне, результаты оказались противоположны: вдоль оси заготовки превышает поперек оси. Это противоречие может быть преодолено при учете неравномерности распределения сопротивления деформации по радиусу заготовки, на что указывалось в статьях [3, 4].

Для изучения этого явления были поставлены эксперименты по осадке цилиндрических образцов, вырезанных из литой катанки и имеющих различный диаметр. Это достигалось проточкой исходной катанки диаметром $D = 8$ мм на заготовки диаметрами 5,6 и 4 мм. Полученные цилиндрические образцы с отношением высоты к диаметру 1,5 подвергались осадке по описанной выше методике. Зависимость сопротивления деформации от отношения d/D при фиксированном отношении степени деформации представлена на рис. 5. Результаты статистической обработки приведены в табл. 2 в виде значений коэффициентов уравнений регрессии и соответствующих коэф-

Таблица 2
Коэффициенты уравнений регрессии для сопротивления деформации непрерывнолитой меди марки М1 в зависимости от диаметра образца

d/D	a , МПа	b	$R_{кор}$
1	370	0,232	0,988
0,7	361	0,268	0,999
0,5	365	0,331	0,995

коэффициентов корреляции $R_{кор}$. Коэффициенты корреляции близки к единице, что позволяет сделать вывод о наличии тесной связи между анализируемыми параметрами.

Регрессионный анализ позволяет сравнить значения сопротивления деформации при одном и том же значении логарифмической степени деформации 8. Аппроксимирующая формула позволяет также создать возможность экстраполяции характеристик металла в областях, приближенных к центру заготовки, поскольку изготовление и испытание образцов диаметром менее 4 мм представляет собой технические трудности.

При логарифмической степени деформации 0,3, которая характерна для прохода волочения, определены значения сопротивления деформации и аппроксимированы линейной функцией

$$\sigma_s = 227,3 + 17,4 \cdot d/D. \quad (8)$$

Аналогично получено уравнение регрессии для отклонения сопротивления деформации от интегрального значения

$$\Delta = 18,77 - 6,218 \cdot d/D. \quad (9)$$

Расчеты по этим формулам показывают, что в центре заготовки (при $d/D = 0$) сопротивление деформации может снизиться до 227,3 МПа и, соответственно, разница с интегральным значением составит 18,77 %. Такая значительная разница в прочностных свойствах металла, естественно должна сказаться на параметрах формоизменения, что обуславливает особенности течения непрерывнолитого материала при холодной деформации.

Само снижение прочностных характеристик по направлению к центру заготовки можно объяснить направленным характером кристаллизации металла: в этом способе литья металл застывает вначале на периферии, с постепенным перемещением фронта кристаллизации к центру. Во многих случаях это приводит к образованию усадочной раковины, идущей вдоль всей длины заготовки или к усадочной пористости. Во всяком случае, связь между дендритами вблизи центра заготовки, видимо более слабая, чем на периферии, что обуславливает и пониженные прочностные характеристики.

В целом предпочтительное течение металла вдоль оси литья и соответственно вдоль оси волочения не создает особых препятствий для осуществления процесса получения проволоки круглого сечения. Ситуация резко изменяется в том слу-

чае, когда из проволоки круглого сечения необходимо получить методом волочения проволоку некруглого, например, прямоугольного сечения. Использование тех же маршрутов волочения, что и для изотропной заготовки, приводит к неполному заполнению профиля волоки металлом, из-за чего на кромке полос появляются свободные поверхности. Поскольку в процессе волочения уровень растягивающих напряжений велик, то отсутствие подпора со стороны стенки волоки, переводит материал заготовки в крайне неблагоприятную схему напряженного состояния с высокими значениями показателя напряженного состояния. Последнее резко снижает пластичность металла, что в производстве проволоки прямоугольного сечения на кабельных заводах приводит к нарушениям сплошности в виде трещин и повышенной обрывности металла на волочильном оборудовании.

ПРОГНОЗ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ДЕФОРМАЦИИ ЛИТЫХ ТРУБ

Литые медные трубы, полученные, например, по технологии CAST AND ROLL фирмы OUTOKUMPU, обладают структурой, подобной структуре, медной катанки.

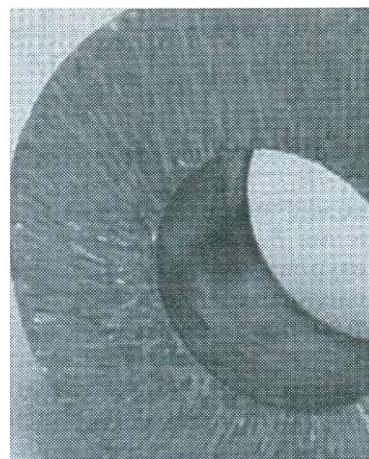


Рис. 9. Темплет непрерывной трубы, полученной по технологии OUTOKUMPU

Как это видно из рис. 1. для металла характерно дендритное строение, выявленное в предыдущих исследованиях литой катанки. Поэтому закономерности пластической деформации для того и другого случаев должны совпасть. При литье катанка имеет одну поверхность охлаждения. При литье трубной заготовки, охлаждение происходит по контуру наружной поверхности и по контуру внутренней поверхности. Поэтому оси столбчатых дендритов располагаются радиально с поверхностью стыковки на уровне некоторого радиуса. При этом зона мелких кристаллов в центре заготовки отсутствует.

Литая медная заготовка, произведенная методом CAST AND ROLL, может быть продеформирована в холодном состоянии, поскольку процесс

планетарной прокатки, освоенный упомянутой фирмой, начинается при комнатной температуре. Поэтому вместо процесса прокатки могут быть рассмотрены и другие процессы, характерные для холодной деформации трубных заготовок.

Рассмотрим процесс безоправочного волочения. Металл в этом процессе имеет две степени свободы. Во-первых, заготовка имеет возможность удлиняться, что характеризуется коэффициентом вытяжки. Металл имеет возможность также перетекать в полость трубы, утолщая стенку трубы. Таким образом, создается вариантность течения металла, и предпочтительное перемещение металла зависит от многих факторов. Наравне с традиционно учитываемыми параметрами: обжатием, коэффициентом трения, геометрией заготовки и волоки, в данном случае необходимо учитывать анизотропию свойств материала и неоднородность распределения свойств по поперечному сечению заготовки.

В статье [12] рассмотрено несколько технологий, альтернативных традиционной технологии прессования и волочения медных труб. Одна из технологий включает литье трубной заготовки и деформацию этой заготовки в холодном состоянии.

Качественная картина холодной пластической деформации литой заготовки выглядит следующей. В отличие от изотропного металла литой металл предпочтительно пластически перетекает в длину, за счет чего стенка трубной заготовки становится тоньше по сравнению со случаем прокатки изотропного металла. Поэтому коэффициент вытяжки может увеличиться на 8 % по отношению к коэффициенту вытяжки в традиционном процессе.

Следует отметить, что при безоправочном волочении труб перечень параметров, влияющих на утолщение или утонение стенки заготовки и так достаточно велик. К этим параметрам следует отнести обжатие, коэффициент трения, геометрию заготовки и инструмента. В соответствии со сделанными ранее выводами к этим параметрам следует добавить показатели анизотропии и неоднородности свойств по поперечному сечению.

При холодной прокатке труб (ХПТ), т.е. в процессе, который рассматривается в качестве альтернативной технологии в статье [12], анизотропия свойств может привести к меньшему заполнению калибра металлом, как это наблюдается при заполнении некруглых волок при протягивании литой катанки. Поэтому режимы калибровки валков станов ХПТ, видимо, должны быть пересмотрены. Как показали расчеты авторов [12], по сравнению с традиционной технологией производства энергозатраты в новом процессе окажутся меньше на 25 %, поскольку отсутствует необходимость в нагреве заготовок перед горячей деформацией.

Кроме того, сам процесс горячей деформации очень трудно организовать без опасности окисления металла и ухудшения, в связи с этим, качества поверхности. В альтернативном процессе литья и холодной деформации нет причин, по которым может произойти ухудшение качества поверхности.

Если для полуфабрикатов потребуется произвести отжиг при отсутствии окисления, то эта задача разрешима применением печей безокислительного отжига, например, методом Эбнера.

ВЫВОДЫ

Внедрение более дешевой технологии производства медных труб литьем и последующей холодной обработкой является альтернативой существующей схеме производства. Однако, как показали выполненные теоретические и экспериментальные исследования, для холодной деформации в этом случае, применяется металл с новым набором технологических свойств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1.Ландихов А.Д. Производство труб, прутков и профилей из цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1971. 448 с.
- 2.Международная патентная заявка PCT W0 02/055226. Method and apparatus for manufacturing tubes by rolling. M.Leiponen / OUTOKUMPU OYJ. Fil.11.12.01. Publ. 18.07.02. IPC B21B19/00.
- 3.Европейский патент EP 0875317. Method and apparatus for casting metal wires, bars and tubes in an upwardly direction. OUTOKUMPU OY/Koivistu Markku. Fil.28.04.97. Publ.04.11.98. IPC7 B22D11/14.
- 4.Патент РФ №2203769. Способ отливки металлической проволоки, брусков и труб из цветных металлов с перемещением вверх и устройство для его осуществления. ОУТОКУМПУ ОЙ(Р1)/Койвисту Марку. Заявл. 29.04.97. Опубл. 27.01.98. МПК' B22D 11/14.
- 5.Патент Великобритании №138485. Process for production of tubes. PHELPS DODGE COPPER PRODUCTS. Publ.01.01.69. IPC B21B21/00.
- 6.Логинов Ю.Н., Буркин С.П., Сапунжи, В.В. Изучение упрочнения и разупрочнения магния с учетом анизотропии свойств. Известия вузов. Цветная металлургия, 1999, № 6. С. 42-46.
- 7.Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. М.: Машиностроение, 1975. 400 с.
- 8.Писаренко Г.С., Можаровский Н.С. Уравнения и краевые задачи теории пластичности и ползучести. Киев: Наукова Думка, 1981. 496 с.
- 9.Логинов Ю.Н., Мальцева Л.А., Вырлина Л.М., Копылова Т.П. Проблемы применения медной катанки в кабельной промышленности. Кабели и провода, 2001, № 2 (267). С. 14—16.
- 10.Логинов Ю.Н., Мальцева Л.А., Вырлина Л.М., Копылова Т.П. Анизотропные свойства непрерывнолитой медной катанки электротехнического назначения. Цветные металлы, 2002, № 4. С. 73—77.
- 11.Иванова С., Станоевич Б., Маркович Д. Влияние высоких степеней деформации на текстуру медной проволоки. Цветные металлы, 2002, № 3. С. 71-73.
- 12.Рытиков А.М., Фейгина А.С., Рытиков С.А. Сравнение эффективности альтернативных технологий производства медных труб. Цветные металлы. 2003, № 6. С. 16—23.